

Resumen

El objetivo del presente trabajo ha sido estudiar el período de puesta en marcha y operación de un digestor piloto operando en la degradación anaerobia mesofílica de lodos de EDAR. La inoculación y arranque del sistema se realizó utilizando el efluente procedente de un digestor industrial y, posteriormente, se alimentó con una mezcla de los fangos primarios y secundarios generados en la EDAR Guadalete de Jerez de la Frontera.

Los resultados experimentales obtenidos indican que, tras la estabilización del sistema, el digestor piloto opera de forma adecuada y similar al digestor industrial, presentando porcentajes de eliminación de sólidos del 53% a una velocidad de carga orgánica de 1,26 gSV/L·d, mientras que la generación de biogás asciende a 0,36 Lbiogás/Ldigestor·d.

Palabras clave:

Fangos EDAR, digestión anaerobia, mesofílica, velocidad carga orgánica, biogás, rendimiento, planta piloto.

Abstract**Commissioning and operating a mesophilic anaerobic sludge digester**

This article describes a study of the decommissioning and operation of a pilot digester used for the mesophilic anaerobic degradation of sewage sludge. The system was inoculated and started up using the effluent from an industrial digester and was later fed with a mixture of the primary and secondary sludge generated by the Guadalete waste water treatment plant in Jerez de la Frontera, Spain.

The results of the experiment show that following the stabilisation of the system, the pilot digester's performance was adequate and similar to that of the industrial digester. It eliminated 53% of solids at an organic load speed of 1.26 gSV/L·d and generated biogas at 0.36 Lbiogás/Ldigestor·d.

Keywords:

Sewage sludge, anaerobic digestion, mesophilic, organic load speed, biogas, performance, pilot plant.

Puesta en marcha y operación de un digestor anaerobio mesofílico de lodos

Por: Ángeles de la Rubia Romero^(*); Montserrat Pérez García^(*), Ángel Martínez Garzón^(**), José Antonio Andrades Balao^(***), Luis Isidoro Romero García^(*), Diego Sales Márquez^(*)

^(*) Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz.

Campus Río San Pedro s/n, 11510 Puerto Real (Cádiz)

Tel.: 956 016 148 – Fax: 956 016 040

E-mail: mariangeles.delarubia@uca.es

^(**) Jefe de planta de la EDAR Guadalete. PROSEIN. Jerez de la Frontera, Cádiz.

^(***) Departamento de Gestión del Ciclo del Agua. AJEMSA. Jerez de la Frontera, Cádiz.

1. Introducción

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, EDARs, llevan a cabo la depuración de las aguas mediante un conjunto de técnicas que persiguen, básicamente, separar los contaminantes del agua residual. De esta forma el lodo generado en estos procesos de separación es el subproducto principal de estas instalaciones. En general, los fangos están constituidos por los sólidos sedimentados del agua residual, el exceso de microorganismos producidos durante el tratamiento biológico, los productos sedimentados por coagulación natural o provocada de las partículas en suspensión o de carácter coloidal y los precipitados químicos formados por la reacción de los coagulantes con las partículas disueltas. El primer problema que plantean los fangos deriva de su elevado contenido en materia orgánica, que tiende a descomponerse. Así pues, un tratamiento integral del agua exige una adecuada gestión del lodo producido. La estabilización de este subproducto generado en las plantas depuradoras puede

ser llevado a cabo mediante digestión aerobia o bien mediante digestión anaerobia. Ésta última está especialmente indicada en las instalaciones de gran capacidad de tratamiento, superior a 25.000 habitantes (Hernández, 1992) y su aplicación se considera económicamente favorable para el tratamiento de efluentes con una concentración superior a 2.000 mg DQO/L (Eckenfelder, 1988).

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que consiste en la degradación biológica, en ausencia de aire, de un material orgánico complejo, dando como productos finales un gas de considerable valor energético, compuesto fundamentalmente por metano y dióxido de carbono, y un residuo con una menor concentración en sólidos volátiles u orgánicos. Este proceso consta de una serie de etapas conectadas en serie o serie-paralelo, en las que está implicadas un número elevado de especies bacterianas.

La importancia de la degradación anaerobia ha aumentado, especialmente durante las dos últimas déca-

Tabla 2

Parámetro	Valor medio
Temperatura	35,9°C
THR	36,71 días
Sólidos Totales	37,5 g/L
Sólidos Volátiles	17,14 g/L
Acidez volátil	206 mg ácido acético/L
Alcalinidad	12700 mg Ca CO ₃ /L
pH	7,4

Tabla 2. Parámetros de funcionamiento del digestor industrial en el momento de la inoculación del reactor piloto.

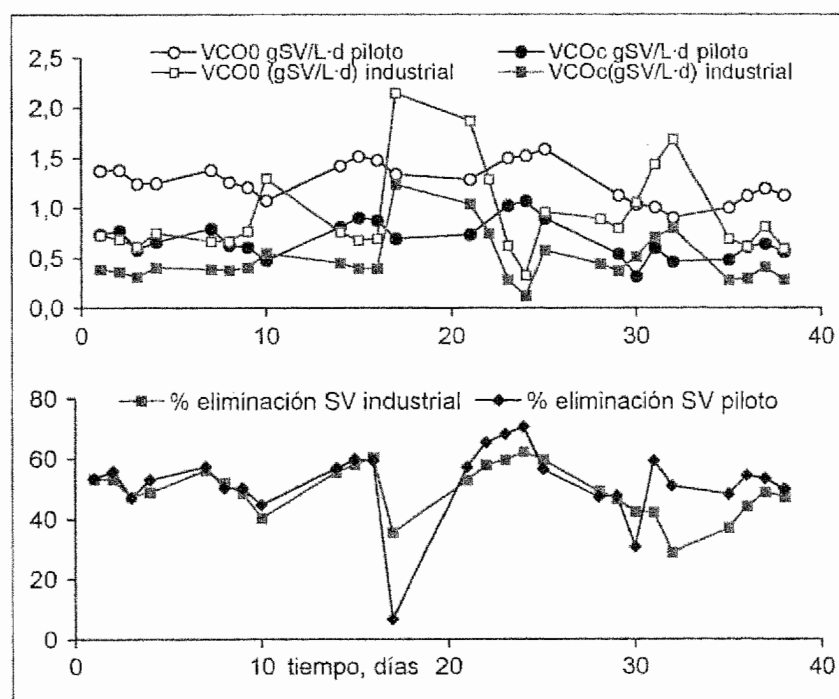


Figura 1. Evolución temporal de los parámetros de biodegradación del digestor piloto y del digestor industrial. a) Velocidad de carga orgánica alimentada gSV/L-d y velocidad de carga orgánica consumida, gSV/L-d; b) Eficacia depuradora expresada como porcentaje de eliminación de SV.

de ST, SV, DQO, pH y alcalinidad se realizan de acuerdo con los métodos estandarizados (APHA, AWWA, WPCF 1992). La composición de biogás y AGV se analizan mediante cromatografía gaseosa.

Para la determinación de la composición de biogás (porcentajes de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y metano) se utilizó un cromatógrafo modelo SHIMADZU GC-14 B. En cada determinación se inyectaba una muestra correspondiente a 1 mL. Se utilizó una columna de acero inoxidable Car-

bosieve SII de 2m de longitud y 1/8 de pulgada de diámetro. El programa de temperatura de la columna fue: inicialmente durante 7 minutos a 55°C, subida posterior hasta 175°C a una velocidad de 40°C/min y, finalmente durante 9 minutos a 175°C; el detector utilizado es de conductividad térmica y trabaja a una temperatura de 100°C; el "loop" de muestra es de 1 mL de volumen, siendo el gas portador utilizado Helio con un caudal de 30 mL/min. La toma de muestra se realizaba en un dispositivo preparado a tal efecto,

de 100 mL de capacidad, por desplazamiento del agua contenida en su interior. Para el calibrado del sistema se utilizó un gas de ensayo patrón de composición conocida de H₂, N₂, CO₂, O₂ y CH₄ (suministrado por Carburos Metálicos).

La determinación de ácidos grasos volátiles se efectuó sobre muestras de efluentes. Se determinaron cuantitativamente las concentraciones de nueve ácidos grasos de cadena corta: ácido acético, ácido propiónico, ácido isobutírico, ácido butírico, ácido isovalérico, ácido valérico, ácido isocaproico, ácido caproico y ácido heptanoico. La técnica de análisis utilizada es la cromatografía gaseosa. El equipo utilizado fue un SHIMADZU GC-17 A. Entre los parámetros de trabajo, cabe mencionar que se utilizó una columna con fase de Nukol (polietilenglicol modificado con ácido nitrotereftálico) de 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y un grosor de 0,25 µm. El gas portador utilizado es el Helio (50 mL/min) y el detector de ionización de llama (FID), como patrón interno se utilizó fenol. Las restantes condiciones de operación empleadas fueron las siguientes:

- gas auxiliar: nitrógeno (30 mL/min)
- split: 1:10.
- inyección de 1µL de muestra tras 10 lavados con agua y 4 con muestra.
- programa de temperaturas de la columna:
 - Temperatura de inyección: 200°C.
 - Temperatura de detección: 250°C.
 - Temperatura inicial de la columna: 135°C, durante 3 minutos.
 - Rampa de 3,5°C/min.
 - Temperatura final: 185°C seguida de una rampa de 10°C/min hasta 195°C, que se mantiene durante 6,7 minutos.

3. Resultados y discusión

Tras la inoculación del digestor piloto con los lodos procedentes de

das, gracias al desarrollo de tecnologías aplicables a una gran variedad de residuos que incluyen desde aguas residuales urbanas hasta efluentes industriales y residuos sólidos (Verstraete, 1999). La mayoría de aplicaciones se han realizado bajo condiciones mesofílicas de temperatura (Fang, 1999).

Uno de los residuos susceptibles de ser sometidos a este tratamiento son los lodos o fangos generados en las EDARs. La degradación anaerobia de los lodos presenta una gran ventaja con respecto a la digestión aerobia de los mismos y es que mediante la estabilización anaerobia se reduce considerablemente el volumen de los lodos (Vázquez, 1996); la razón por la cuál el proceso biológico anaerobio es susceptible de reducir el contenido en materia orgánica de los sólidos biológicos, procedentes del tratamiento aerobio de las aguas residuales, es que el catabolismo anaerobio es mucho menos eficiente, en términos energéticos, que el aerobio. Esto es debido a que, al no haber oxígeno en el medio, se utiliza a la materia orgánica como aceptor final de electrones, obteniéndose un producto final que es el compuesto orgánico reducido: el metano en nuestro caso. Por todo ello, la cantidad de materia orgánica remanente para el crecimiento de la población es sensiblemente inferior que en el caso aerobio y, por tanto, el nivel de sólidos se reduce sustancialmente.

El objetivo del presente trabajo ha sido estudiar el período de arranque, funcionamiento y estabilización de un digestor a escala de planta piloto (150 litros) operando en la degradación anaerobia mesofílica de los lodos de una depuradora convencional de aguas residuales urbanas. Tras su estabilización se ha realizado un estudio comparativo entre el funcionamiento de la citada unidad piloto y una unidad industrial que opera en condiciones similares (digestor anaerobio mesofílico de lodos ubicado en la EDAR Guadalete de Jerez de la Frontera, Cádiz).

Parámetro	Valor medio	Desviación estándar
Sólidos totales (g/L)	52,1	11,1
Sólidos volátiles (g/L)	34,1	5,1
Demanda química de oxígeno	66,7	13,6
pH	5,84	0,14

Tabla 1. Características del fango fresco utilizado durante la experimentación.

2. Materiales y métodos

A continuación se presentan las características operativas, los equipos y técnicas analíticas utilizadas en el desarrollo experimental del presente estudio.

2.1. Características del fango fresco

La composición de la alimentación utilizada en el digestor piloto no es constante y depende de la sistemática de operación diaria de la línea de fangos de la EDAR. En este sentido, los lodos generados en la planta, tanto primarios como secundarios, son sometidos a concentración, bien por gravedad o bien por flotación (este sistema de espesamiento se emplea sólo para los fangos secundarios). Así pues, la carga orgánica de alimentación es variable dependiendo del proceso de concentración y del porcentaje de cada tipo de lodos en el fango de alimentación. El fango se caracteriza mediante la determinación de sólidos totales y volátiles, demanda química de oxígeno y pH, usando los métodos estandarizados (APHA, AWWA, WPCF; 1992). La **Tabla 1** muestra el valor medio y la desviación estándar de las muestras utilizadas durante este estudio.

2.2. Equipos

El digestor piloto utilizado en el presente estudio está construido en acero inoxidable con una capacidad total de 175 litros y un volumen útil de 150 litros. El cuerpo central es de forma cilíndrica y posee múltiples entradas y salidas que son utilizadas para la toma de muestras, así como

para la inserción de dos termómetros con los que se realiza el control de temperatura. La parte superior del digestor es semiesférica y se utiliza como cámara para el biogás producido y está provista también de varias conexiones, una para la salida del biogás (la cantidad de biogás producido se determina mediante un medidor volumétrico), otra para la recirculación del fango y en otra está insertada un manómetro para el control de la presión en el interior del sistema. La parte inferior del equipo es de forma troncocónica y desde la salida inferior se bombea el fango hasta la parte superior del sistema.

2.3. Procedimiento experimental

El digestor fue inicialmente inoculado con lodos procedentes de uno de los digestores industriales de la EDAR Guadalete de Jerez de la Frontera (en cuyas instalaciones se ha llevado a cabo el estudio). En el momento de la inoculación, el reactor industrial operaba eficazmente en la digestión de los lodos primarios y secundarios generados en dicha instalación, según indican los parámetros de funcionamiento presentados en la **Tabla 2**.

Para evaluar el proceso de biodegradación se analizaron los siguientes parámetros: sólidos totales (ST) y volátiles (SV), demanda química de oxígeno (DQO), y pH del influente y del efluente, así como los ácidos grasos volátiles (AGV), y la alcalinidad del efluente y el volumen y composición del biogás generado (CH_4 y CO_2). Las determinaciones

uno de los digestores industriales, el reactor se mantuvo inactivo durante 48 horas hasta que se comenzó la alimentación en semicontinuo con una mezcla de fangos frescos de composición no constante (según la sistemática de operación de la EDAR), que suponían un tiempo hidráulico de retención (THR) de 27 días. Este THR fue seleccionado para reproducir las condiciones de operación de la planta industrial (el THR de la planta industrial varía en función del volumen de lodos a tratar y suele oscilar entre 25 y 45 días; en concreto, durante el período de estudio, el THR medio aplicado fue mayor de 27 días). En estas condiciones de temperatura (35°C) y de THR (27 días), el digestor se mantuvo operativo hasta alcanzar su estabilización.

El sistema operó bajo estas condiciones durante 38 días. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 1, 2 y 3, en las que se presentan de manera conjunta los valores obtenidos para el digestor piloto y para el digestor industrial con el objetivo de poder realizar la comparación de los dos sistemas.

Puesto que el fango fresco utilizado en ambos equipos presenta las mismas características (mezcla de lodos primarios y secundarios de la EDAR Guadalete), se observa como en la Figura 1a la Velocidad de Carga Orgánica Inicial (VCO0) del digestor piloto (en azul) es del mismo orden de magnitud que la del digestor industrial (en rojo), aunque el digestor piloto siempre está sometido a una mayor carga debido al menor THR aplicado (1,26 gSV/L·d del digestor piloto frente a 0,93 gSV/L·d del digestor industrial). No obstante, ambos digestores responden de forma similar ante las variaciones de carga, aumentando o disminuyendo en su caso el consumo de materia orgánica. La eliminación de sólidos volátiles, tal y como se observa en la Figuras 1b, es algo mayor para el digestor piloto: 53,5% frente a 49,5% del digestor industrial, aunque ambos se adecúan

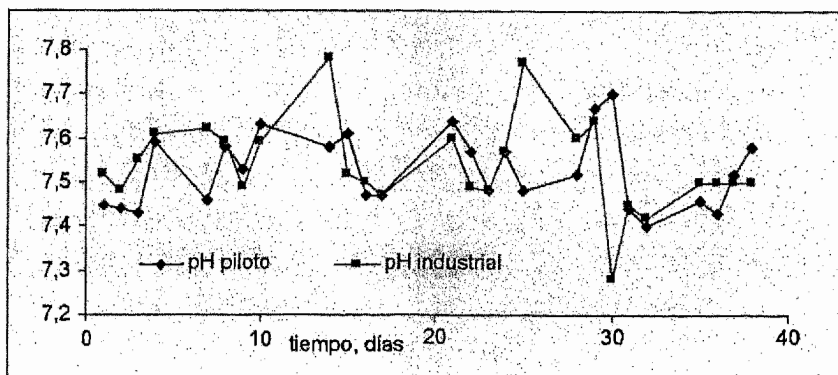


Figura 2. Evolución temporal del pH del digestor piloto y del digestor industrial.

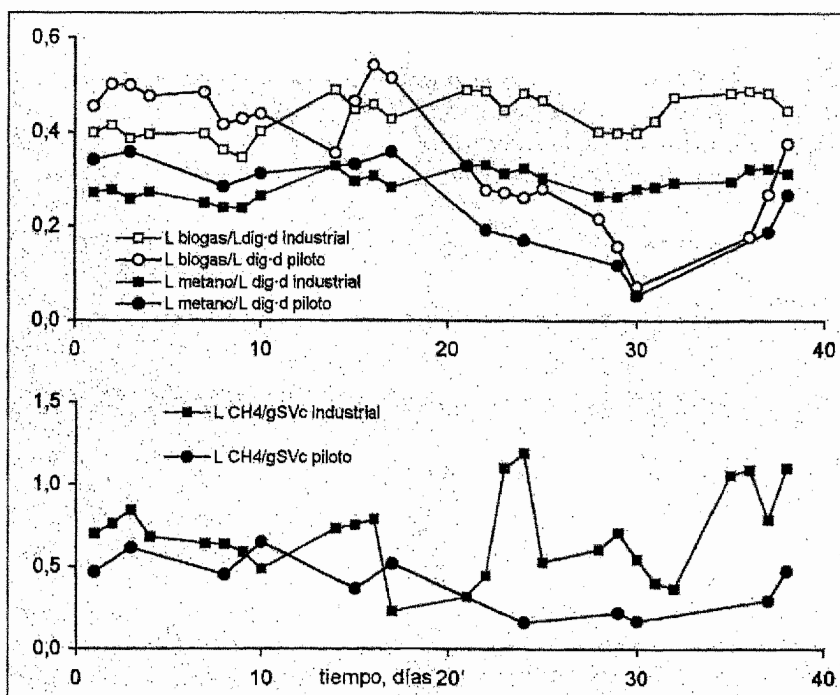


Figura 3. Evolución temporal de la producción de biogás del digestor piloto y del digestor industrial. a) Producción neta de biogás y de metano, expresada como L/Ldig·d; b) Producción de metano por gramo de sólidos volátiles consumidos.

siempre a las condiciones de operación y siguen la misma tendencia.

En la Figura 2, se observa como el pH de ambos digestores suele encontrarse dentro del rango típico de operación en mesofílico (Garber, 1975; Kugelman, 1989; Rimkus, 1982) 7,4-7,6, aunque el pH del digestor industrial suele ser más bajo, en el rango 7,3-7,5.

Dada la mayor inercia del digestor industrial, en la Figura 3 se observa una mayor relación entre las eficacias de depuración y la producción de metano por gramo de mate-

ria orgánica eliminado (eliminación del 53,5% de sólidos volátiles para una producción de 0,40 LCH₄/gSV_c del digestor piloto frente a una eliminación del 49,5% para una producción de biogás de 0,70 LCH₄/gSV_c). También está más clara la relación entre la carga orgánica alimentada (1,26 gSV/L·d para el digestor piloto y 0,93 gSV/L·d del digestor industrial) y la producción de biogás (0,36L/L·d del digestor piloto frente a 0,43 L/L·d del digestor industrial) en el digestor industrial.

*La producción neta
de biogás presenta
valores similares, del
orden de 0,4 L/L·d*

4. Conclusiones

- La evolución del digestor piloto ante un aumento o una disminución de carga es similar a la del digestor industrial, es decir, el digestor responde aumentando o disminuyendo, en su caso, la velocidad de carga orgánica consumida.

- Los porcentajes de eliminación de sólidos volátiles presentan valores semejantes y siguen la misma tendencia, presentando valores medios en torno a 50%.

- En general, la producción neta de biogás presenta valores similares, del orden de 0,4 L/L·d.

Así pues, bajo las condiciones de operación estudiadas, ambos sistemas presentan evoluciones similares. Esta similitud en la evolución de ambos sistemas hace abrigar esperanzas ante la posibilidad de extrapolar los datos para estudios futuros

que se llevarán a cabo con el digestor piloto y que, tras comprobar su buen funcionamiento, se podrían poner en práctica en el digestor industrial.

5. Agradecimientos

El presente estudio forma parte del plan experimental del Proyecto de Investigación denominado "Implantación de la degradación anaerobia termofílica para el tratamiento de lodos de una depuradora urbana convencional (95-0208-OP)", financiado por la CICYT en una convocatoria de proyectos PETRI.

Los autores quieren agradecer a las empresas Aguas de Jerez Empresa Municipal S.A. y PROSEIN su cooperación para el desarrollo de este trabajo en la Estación Depuradora de Aguas Residuales Guadalete de Jerez de la Frontera, Cádiz.

6. Referencias

- [1] APHA, AWWA, WPCF (1989). "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales". Editorial Días De Santos, S.A. Edición en Español (1992).
- [2] DE LA RUBIA ROMERO, M.A. (2000). "Viabilidad técnica de la implantación de la degradación anaerobia termofílica de lodos de EDAR" Tesis de Licenciatura. Universidad de Cádiz.
- [3] ECKENFELDER, W.W., PATOCZKA, J.B., PULLIAM G.W. (1988). "Anaerobic versus aerobic treatment in the USA" en: "Anaerobic Digestion". De. E.R. Hall y P.N. Hobson. Pergamon Press.
- [4] FANG, H.H.P., WAI-CHUNG CHUNG, D (1999). "Anaerobic treatment of proteinaceous wastewater under meso- and thermophilic conditions". Water Science and Technology, 40(1), 77-84.
- [5] GARBER, W.; OHARA, G.; COLBAUCH, J.; RAKSIT, S. (1975). "Thermophilic digestion at the Hyperion Treatment Plant". Journal WPCF, 47(5), 950-961.
- [6] HERNANDEZ MUÑOZ, A. (1992). "Depuración de aguas residuales". Editorial Paraninfo S.A. Madrid.
- [7] KUGELMAN, I.J. AND GUIDA, V. (1989). "Comparative evaluation of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion". EPA/600/S2-89/001.
- [8] RIMKUS, R.; RYAN, J.; COOK, E. (1982). "Full scale thermophilic digestion at the west-southwest sewage treatment works, Chicago, Illinois". Journal WPCF, 54(11), 1447-1457.
- [9] VAZQUEZ BORGES, E.; MEJIA SANCHEZ, G.M. (1996). "Producción de fangos en la depuración anaerobia". Tecnología del Agua. 148, 137-141.
- [10] VERSTRAETE, W.; VANDEVIVER, P. (1999). "New and broader applications of anaerobic digestion". Crit. Rev. Environ. Technol, 29: 151-73.